



%100 YENİLENEBİLİR ENERJİLİ KENTLER ve HİDROJEN EKONOMİSİ

100% Renewable Energy Cities and Hydrogen Economy

Birol Kılıç

ÖZET

Bu makalede, iklimsel ısınmaya karşı bugüne değin değerlendirilemez denilen atık ısıların ve düşük entalpili yenilenebilir enerji kaynaklarının çok düşük sıcaklıkta konfor ısıtmasına ve oldukça yüksek sıcaklıklarda konfor soğutmasına olanak verecek bölge enerji sistemleri üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla %100 Yenilenebilir Enerjili Kent tanımlamaları ve ekserji tabanlı tasarım ve değerlendirme ölçütleri geliştirilmiştir. Bu tür düşük ekserjili kaynakların akılcı kullanımında binaların da düşük ekserjili sistem ve cihazlarla donatılmaları veya mevcut sistem ve cihazların büyütülmeleri ve veya ısı pompaları ile sıcaklık piklemesi gerekmektedir ki bu son iki ara çözüm esas amacı bozmakta, CO₂ salımlarının yeterli düzeyde azaltılmasına engel teşkil etmektedirler. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli ve değişken olmaları da enerji depolamasının ön plana çıkarmaktadır. Tüm bu sorunlar göz önüne alındığında hidrojen ekonomisi, yenilenebilir enerji kaynaklı optimum çözümler üretmek kaydı ile önem kazanmıştır. Bu bağlamda ekserji tabanlı optimum bölge enerji sistemi tasarım modeli ve algoritması geliştirilerek Karadeniz'deki H₂S gazından elde edilecek hidrojen gazına bağlı, Sinop kenti için hidrojen kent ön tasarımı geliştirilmiştir. Bu önerinin teknik verileri sunulurken doğal gaz ile hidrojenin karıştırılması ile alt yapıyı bozmadan Sinop kentinin enerji sorununun çözülebileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: %100 Yenilenebilir Enerji Kenti, Ekserji, Hidrojen ekonomisi, Karadeniz H₂S gazı

ABSTRACT

This article focuses on the district energy systems that satisfy comfort heating at very low temperatures and comfort cooling at high temperatures by utilizing low-exergy waste heat and low-enthalpy renewable energy sources, which were considered useless until the recent climate crisis. To facilitate this transition, 100% Renewable Energy City definitions and exergy-based design and evaluation metrics are developed. In the rational utilization of such low exergy sources, buildings should also be equipped with low exergy systems and equipment, or the existing systems and equipment should be oversized or the temperatures are peaked with heat pumps, which defy the main purpose and constitutes an obstacle to the sustainable reduction of CO₂ emissions. Also, the fact that renewable energy sources are intermittent and variable makes energy storage a must. Considering all these problems, the hydrogen economy has gained importance by producing optimum solutions based on renewable energy. In this context, an exergy-based optimum district energy system design model and algorithm have been developed and a preliminary design about a hydrogen city has been completed for the city of Sinop. The concept design is based on hydrogen to be obtained from the H₂S gas available in the Black Sea. By presenting the technical data of this proposal, it has been observed that by mixing natural gas and hydrogen, the energy and environment nexus of the city of Sinop can be solved without a need to retrofit the existing natural gas infrastructure.

Keywords: 100% Renewable Energy City, Exergy, Hydrogen economy, H₂S gas in the Black Sea

1. GİRİŞ

Sürekli artmakta olan küresel ısınma sorunu yanında uluslararası çatışmaların ana nedenlerinden olan tükenir türdeki fosil yakıt rezervlerine olan eğilim ve doğal gaz furyasına karşın yöneticiler ve enerji stratejistleri isteseler de istemeseler de, düşük enerji yoğunluk ve kaliteleri (Ekserji) nedeni ile daha önceleri yüzüne bile bakmadıkları ve göz ardı etmeye alıştıkları ama aslında çok bol ve hasadı çok kolay olan yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarını geleceğimizin en önemli çıkış yolu olarak görmeye başladılar. Ekserji herhangi bir enerji kaynağının yararlı iş üretme potansiyelidir ve günümüzde enerjinin niteliğini betimleyen ekserji, enerjinin niceliğinden çok daha önemli konuma gelmiştir. Bu bağlamda, hidrojenin ekserjisi doğal gazdan bile fazladır. Bununla birlikte, endüstri, ulaşım ve tarım sektörleri, alternatif ve düşük nitelikli kaynaklarla çelişkili biçimde fosil yakıtlara dayanan yüksek nitelikli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyar. İşte hidrojen burada da önem kazanmaktadır ve bu çelişkiyi çözebilecek yeni teknolojilerden en önemlisi yenilenebilir enerjiye dayalı hidrojen ekonomisidir. Sudan veya denizden hidrojen üretmek için güneş enerjisi gibi daha düşük nitelikli yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak, doğal gazdan daha kaliteli olan sıfır karbon salımlı bir yakıt sağlanmış olur. Karadeniz ülkeleri bu açıdan çok özel bir şansa sahiptirler, çünkü, düşük tuzluluk oranına sahip deniz suyunun yanı sıra, rüzgâr, dalga ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikteliği ve bolluğuna ek olarak zaten denizde eriyik durumda çok miktarda ve artık tehlikeli boyutlara ulaşmış bollukta H₂S gazı mevcuttur. Tüm bu zenginliklerin yan yana geldiği başka bir deniz veya karasal ortam Dünyada mevcut değildir. Karadeniz'deki bu özel avantaj rahatlıkla denizdeki yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılarak hidrojen, oksijen ve kükürt gazlarına dönüştürülebilir. Karada denizde, hatta havada kullanılabilir (sanayi atıkları ve hidrojenden jet yakıtı üretimi gibi). Türkiye'nin karasularındaki hidrojen potansiyeli şu anda tespit edilen doğal gaz rezervinin en az kırk katıdır. Daha da önemlisi, Karadeniz'de endişe verici derecede yüksek olan yanıcı, patlayıcı ve zehirli H₂S içeriğinin zaten bertaraf edilmesi gerekmektedir. Şu andaki balıkçılıkta ve diğer çevre zararlarında bunu görmekteyiz. Dolayısı ile kazan-kazan-kazan söz konusudur. Hidrojen üretimi hem ekonomik katkı hem Karadeniz ülkeleri arasında iş birliğini ve dostluğunu pekiştirici, aynı zamanda sıfır salımlı yüksek kaliteli enerji kaynağı olan hidrojen ve ticari değeri olan sülfür ve oksijen eldesi yönleri ile Karadeniz bulunmaz bir kaynaktır, dünyada bir benzeri yoktur. Bu yazıda deniz üzerinde dalga, güneş, rüzgâr enerjili ve bizzat kendisi hidrojenle çalışır bir gemide hidrojen gazı üretimi ve karaya nakli, Sinop kentinde ve sanayide doğal gaz, bölgedeki kömür ve jeotermal enerji kaynaklarını da kullanan hidrojen kenti projesinin ana hatları yanı sıra ekonomik, çevresel ve politik avantajları anlatılmaktadır.

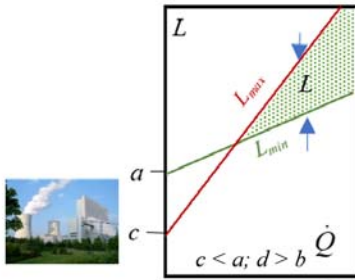
2. HİDROJEN KENTLERİ

2.1. Hidrojen Eldesi

Hidrojenin elde edilmesindeki esas, yenilenebilir enerji kaynaklarının talep fazlalarından yararlanmak ve H₂S gazı gibi kaynakları kullanmaktır. Fosil yakıtlardan hidrojen eldesinin anlamı yoktur. Ancak mevcut doğal gaz alt yapısının kullanılmasını teminen doğal gaz ile ve biyogaz ile karışım akılcı gözükmektedir.

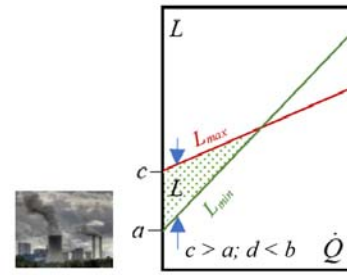
2.1.1 Jeotermal den

Jeotermal kaynak ve veya ORC atık ısılarının yakın çevrede değerlendirilmesi için ısı ekserjinin en akılcı ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi gerekir. Isının taşınacağı en uzak mesafe, L_{max} için termo-mekanik kısıtlar göz önünde tutulmalıdır. Jeotermal işletme ne kadar çevreci olursa L_{max} o denli uzar ve pazar payı o oranda değerlendirilir ve artar. Çevreye saygı göstermenin önemli bir özendirici boyutu da bu doğrusal ilişkidir. Bir jeotermal işletme çevreyi çok kirletiyorsa L_{max} kısalmır (Şekil 3 ve 4).



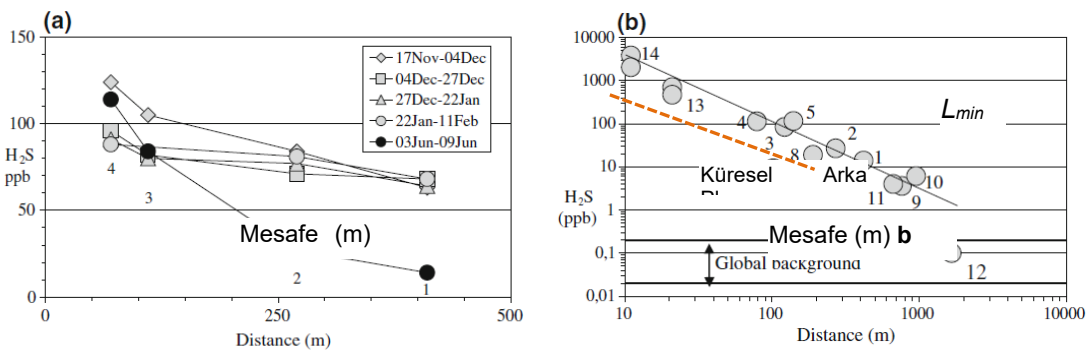
$$L_{\min} \geq a + bQ$$

$$L_{\max} \leq c + dQ$$

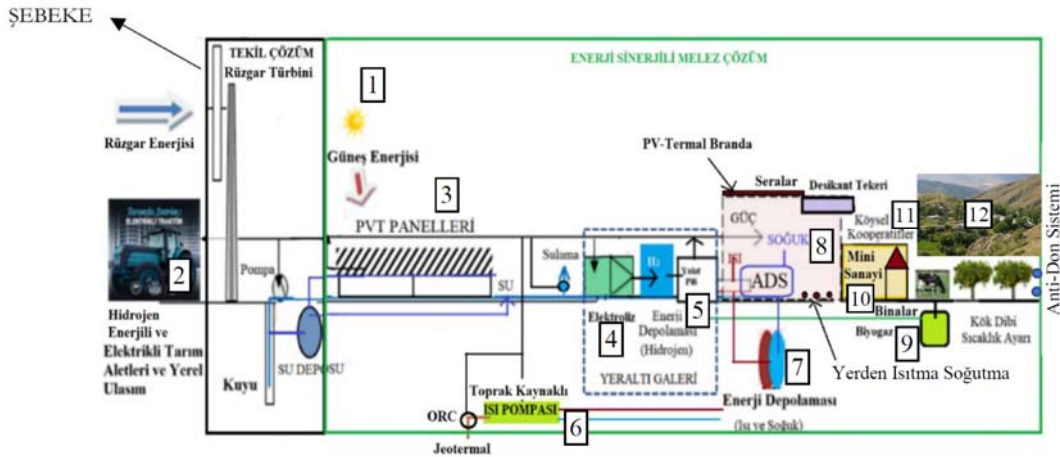

 Şekil 3. Çevre Duyarlı Tesiste L_{\max} ve L_{\min}

 Şekil 4. Çevre Duyarsız Tesiste L_{\max} ve L_{\min}

Şekil 3, H_2S gaz atımının yoğunluğuna bağlı olarak merkezden olan mesafeye bağlı değişimini farklı gün ve mevsimlerde göstermektedir. Şekil 4 ise küresel arka plan yoğunluğunun altına inilebilecek L_{\min} değerinin en az 4000 m olabileceği görülmektedir. Bu alanda tarım ve yerleşimin olabilmesi için H_2S gazının tamamına yakınının tutulması gerekmektedir (Kesikli çizgi, L_{\min} : 300 m).


 Şekil 5. H_2S Yoğunluğunun Değişik Mevsim ve Günlerde Mesafeye Göre Örnek Değişimi (D'Alessandro, W., Brusca, K., 2009)

2.1.2 Rüzgâr Güneş artı su. Neredeyse-sıfır karbondioksit salımlı bir köy kooperatif tasarımı Şekil 6 da özetlenmiştir. Bu model akıllı kentler için de temel itibarı ile geçerlidir. Bu proje her ne kadar çok karmaşık gözükse de çözümlerin en uç noktasını beyan eder ve AR GE çalışmaları bir zincir halinde zaman içerisinde yayılı biçimde kademeli olarak gerçekleştirilir.



Şekil 6. Sıfır Karbon Salımına En Yakın Kombine Tarım Çiftliği ©Birol Kılış, 21

- Bu öneride 12 adet zincir-çözüm kademesi bulunmaktadır. Bunlar sırası ile:
- 1- Melez Rüzgâr ve Güneş Enerji Sistemi,
 - 2- Elektrikli Hareketlilik (Mobilite) ve Tarım,
 - 3- Güneş PV panellerinin çekilen kuyu suyu ile soğutulmuş verim artışı (Kendinden PCM Malzemesinde Enerji Depolamalı PVT Paneller),

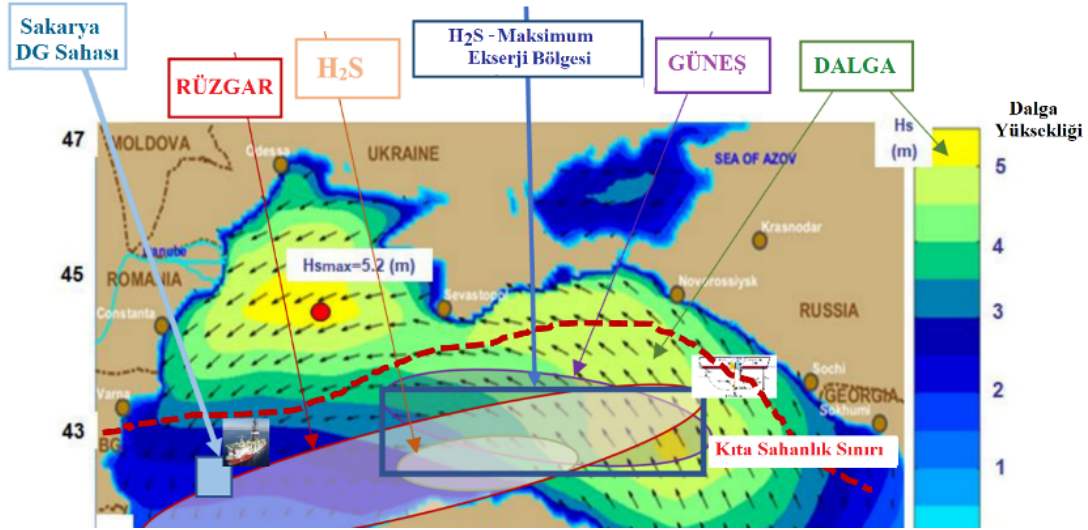
- 4-Hidrojen Elektroliz Ünitesi (Kapalı devre su),
- 5- Yakıt Pili Elektrik ve Isı (Kojenerasyon),
- 6- Toprak Kaynaklı Isı Pompası (Isıtma ve Soğutma, mekanik tahrikli),
- 7- Enerji Depolaması,
- 8-Sera,
- 9-Biyogaz,
- 10-Küçük Tarımsal Sanayi (Tarımsal kurutma, paketleme ürün işleme, süt endüstrisi, vs.)
- 11-Köy Kooperatifi,
- 12- Köy Yerleşim Alanları,

olup her biri ayrı veya bütünlük AR GE ve inovasyon konusu niteliğindedir. Yavaş Kentler giderek yerel tarım ve hayvancılıkla buluşuyor. Şekilde 6'da gösterildiği üzere bu tür bir tarımsal kompleks ve hayvancılık sinerjisi şebeke elektriğine de gerek duymayabilmekte bilakis -eğer şebekeye bağlı ise- şebekeye elektrik bile satabilmekte, böylelikle kendi sigorta havuzunu kooperatif bünyesinde imcece usulü ile de oluşturabilmektedir. Su gereksinimini de kendisi yenilenebilir enerji kaynaklarından kapalı döngü içerisinde karşılayabilmektedir. Bu proje önerisinde karbondioksit salım sorumlulukları sıfıra yaklaşmakta, hayvansal atıklardan biyogaz üretilmektedir. Enerji niteliğinin akılcı değerlendirme katsayısı %80 dolayındadır. Bugünün yapıllı çevre ortalaması ise sadece 0.20 dolayındadır. Toprak kaynaklı ısı pompasının güç talebi organik Rankine çevrimli mini türbin tarafından mekanik olarak doğrudan bağlanarak sağlanmaktadır. Elektrik gücü, şebeke alışverişi dışında, doğru akımlı olup evirici verim kayıpları bertaraf edilmiştir.

2.1.3. Karadeniz'den

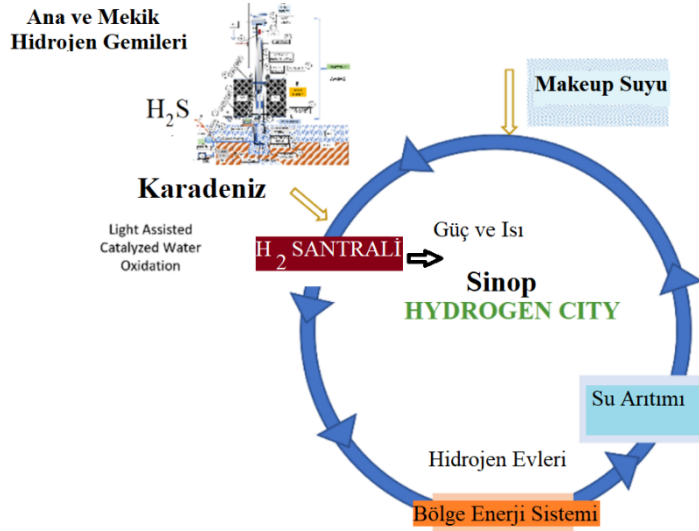
Karadeniz, 432000 km² yüzey alanı, maksimum 2200 m su derinliği ve yaklaşık 534000 km³ su hacmi ile en büyük iç denizlerden birisidir. *Karadeniz'in Kirliliğe Karşı Korunması Komisyonu*, Karadeniz'i altıdan fazla su yakalama oranıyla Dünya Okyanuslarının tümüne göre en yararlı kapalı deniz olarak tanımlayarak, Karadeniz'i oldukça iyi bir şekilde dramatize etmektedir. Bu kadar yüksek bir yakalama oranı, onu kıyıdaş ve kıyıdaş olmayan ülkeler için çok kritik hale getiriyor. Olağanüstü yüksek H₂S yoğunluğuna sahip karakteristik jeomorfolojisi, deniz yaşamını desteklemek için sadece yaklaşık 150 metrelik çok ince bir üst katmanın kalması ile sonuçlanmıştır [1, 2]. Bu sorunlar diğer yanlışlarla, örneğin İstanbul kanalizasyonunun bir kısmının İstanbul Boğazının alt akıntısı ile Karadeniz'e deşarjı ile daha da ciddiyet ve önem kazanmaktadır. Doğal gazın atmosfere açık ortamda yanması sırasında her bir kW-h enerjiye karşılık 0.2 kg CO₂ salınır. Bu oran hidrojenle yenilenebilir enerji kaynaklarında elde edilme koşulu ile sıfırdır.

Karadeniz, dünyanın en büyük H₂S doğal rezervidir. Bu rezerv 28 ila 63 milyar ton (41x10¹² ile 92 x10¹² m³ arasında). Geri kazanım oranının sadece %50 olduğu varsayıldığında ve Karadeniz'de kıta sahanlığı olan altı ülke olduğu düşünülürken, Türkiye'nin payının yaklaşık 7 ila 15 x 10¹² m³ hidrojen olduğu tahmin edilebilir. Hidrojenin ekserji bazlı ısı değeri, doğal gazdan yaklaşık üç kat daha fazladır [2]. Bu nedenle, bir doğal gaz eşdeğerlik karşılaştırmasında, Türkiye için doğalgaz eşdeğeri net rezerv yaklaşık 21 ila 45 x 10¹² m³ eşdeğer doğal gaz olacaktır. Bu, en kötümser bir tahminle yeni keşfedilen Tuna-1 (Sakarya) doğalgaz rezervinin neredeyse 65 katına karşılık gelmektedir. Ayrıca, Karadeniz'de H₂S gaz rezervinin yıllık artışı yıllık 4-9 milyar ton dolayındadır. Bu artışın bile Türkiye payı Tuna-1 doğal gaz rezervinin yaklaşık 9 katıdır. Diğer bir deyişle, H₂S gazı Karadeniz üzerinde mevcut yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen üretiminde kullanılmazsa, Türkiye her yıl 9 doğalgaz rezervine eşdeğer enerji rezervini o yıl değerlendirmemiş olacaktır. Kaldı ki sıfır karbon salımlı hidrojenin H₂S gazından yerinde üretilmesi doğal gaza oranla daha ucuz ve daha çevrecidir. Daha da önemlisi, 505 K (232°C) sıcaklıkta kendiliğinden tutuşabilen, son derecede uçucu ve yanıcı olan H₂S gazı Karadeniz stokundan çıkarılmazsa, topluma ve çevreye, deniz yaşamına, ekonomiye, özellikle balıkçılığa ve insanlığa yönelik büyük ve geri dönüşü olmayan tehditler giderek artmaya devam edecektir. A. Veziroğlu ve Tsitskishvili tarafından yayınlanan bir NATO ASI Kitabında, M., Karadeniz, deniz suyundaki yüksek H₂S içeriği nedeniyle önemli ve potansiyel olarak karbonsuz bir enerji rezervi olarak birkaç yazar tarafından zaten tanımlanmış bulunmaktadır [3]. Hatta, Prof. Dr. Veziroğlu ve çalışma arkadaşları tarafından H₂S gazının hasadının, hizmet dışı bırakılmış bir denizaltı kullanılarak bir derin deniz platformu oluşturulduğunda değerlendirilebileceği projelendirilmiştir [4]. Karadeniz Hidrojen Sülfür Çalışmayı ise (BSHSW) çevre, enerji, ekonomi ve genel fizibilite dahil olmak üzere uyumlu araştırma için ortak bir platformun pilot sistemle kıyıdaş ülkeler tarafından oluşturulması gerektiği sonucuna varmıştır [4, 5].

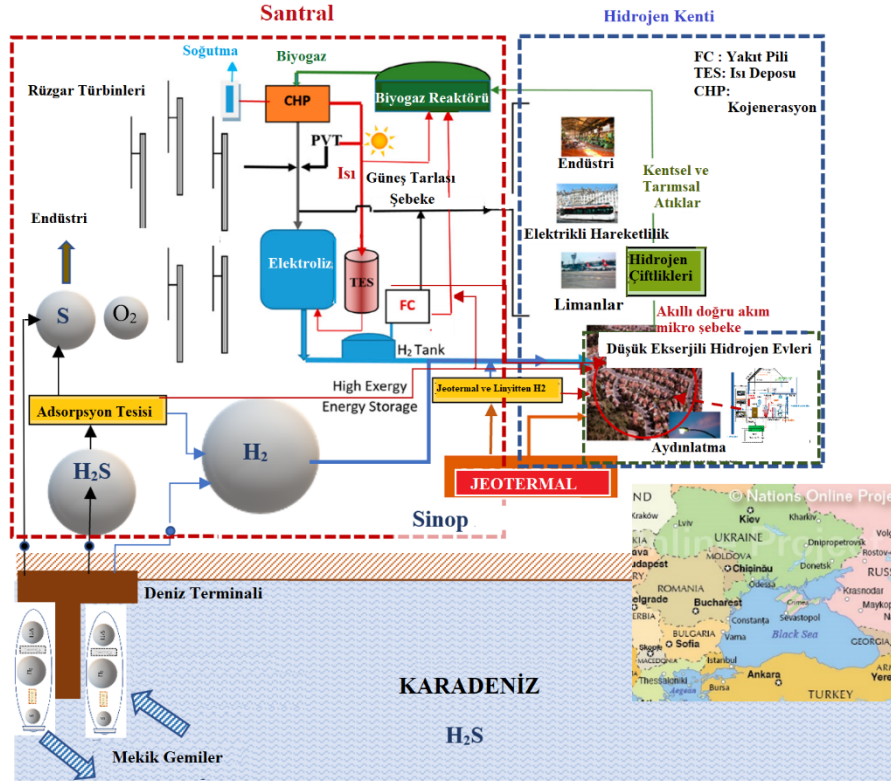


Şekil 7. Karadeniz Kıta Sahanlığımız, Hidrojen Ekonomi Bölgemiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarımızın Toplu Yerel Haritası

5.2. Kara Tarafı: Biyogaz tesisi, karasal rüzgâr türbinleri ve güneş tarlaları ile birlikte yerel linyit ve jeotermal kaynaklar da kullanılarak ilave hidrojen de elde edilecektir. Ana hidrojen gemisinde hidrojene dönüştürülmeyen fazla H_2S gazı da karada işlem görebilecektir. Böylelikle kara ve deniz hidrojen döngüsü tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 8. Su Çevriminde Kara ve Deniz İş Birliği [2]



Şekil 9: Hidrojen Ekonomisinde Kara ve Deniz İş Birliği [2]

6. SONUÇ

- Hidrojen ve hidrokarbon ekonomileri aynı anda optimum bir bileşimle gerçekleştirilirse, hiçbir uluslararası çatışma olmaksızın çok daha fazla ulusal enerji ve politik alanda ulusal gurur elde edilebilir.
- Karadeniz'deki hidrojen ekonomisi, hidrojen ekonomisine önemli bir katkı olarak bu yanıcı ve yanıcı H₂S gazının potansiyel risklerini de hiçbir masrafa gerek olmadan azaltacaktır.
- Petrol platformu maliyetleri ve işletme masrafları, sondaj ve sismik keşif masrafları olmaksızın bir çözüm önümüzde hazır beklemektedir.
- Neredeyse-sıfır karbon salımına sahip çok daha temiz kentler, ulaşım ve tarım mümkün olacaktır.
- Hidrojen aynı miktar enerjiyi taşımak için doğal gaz altyapı kapasitesinin yaklaşık üçte-birini kullanacağından daha az bakım ve onarım maliyeti sağlayacaktır. Mevcut doğal gaz hatlarına hacimce %20 hidrojen karışımı, yaklaşık %60 doğal gaz ve işletim ve bakım maliyetlerinde orantılı tasarruf sağlarken, doğal gaza kıyasla aynı ekserji talebi enerji arzından ödün vermeden karşılanacaktır.
- Politikacıların ve iktisatçıların gündeminde kâğıt para hala ilk sırada yer almaya devam edecek olursa, şu argüman geçerlidir: Hidrojen ekonomisi, özellikle Karadeniz Ülkeleri için en sürdürülebilir, ucuz ve çevre açısından güvenli seçenektir. Hidrojeni ihraç etseniz doğal gazın yaklaşık üç kat fiyatına satarsınız. Doğal gazın rezerv ömrü de uzar. Bu iki seçenek rakip değil tamamlayıcı unsurlardır.
- H₂S gazının ayrıştırılmasında plazma teknolojisi gibi daha yenilikçi yöntemler de araştırılmalı ve net enerji kazanımı, en fazla hidrojen eldesi ve ekonomik-çevresel konular dikkatle karşılaştırılmalıdır [6].



7. KAYNAKÇA

- [1] Ertan, S. 2020. Hydrocarbon Reserves in the Seas Surrounding Turkey, Information Note (In Turkish), 18 pages, September 20, 2020.
- [2] Kilkis, B. 2020. Exergy-Based Hydrogen Economy With 100% On-Board Renewables, H₂S Reserves, and Coastal Hydrogen Cities in the Black Sea Region, Special Report to Turkish Ministry of Energy and Resources (MENR), 79 Pages, August 30, 2020, Ankara, Turkey.
- [3] NATO. 2013. Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems, NATO Science for Peace and Security Series Sub-Series C. Environmental Security, A. Veziroğlu, and M. Tsitskishvili (Eds.), Springer, ISSN: 1874-6519.
- [4] K. Petrov, S. Z. Baykara, D. Ebrasu, M. Gulin, A. Veziroğlu. 2011. An Assessment of Electrolytic Hydrogen Production from H₂S in Black Sea Waters, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, pp: 8936-8942.
- [5] Yazici, S. M. 2013. Chapter 2, in: Conclusions from First Black Sea Hydrogen Sulfide Workshop (BSHSWS), in Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems, NATO Science for Peace and Security Series Sub-Series C. Environmental Security, A. Veziroğlu and M. Tsitskishvili (Eds.), Springer, ISSN: 1874-6519.
- [6] Haklıdır, M. and Kapkin, Ş. 2005. Black Sea, a Hydrogen Source, Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition, IHEC 2005, Istanbul, Turkey, 13-15 July 2005.

8. ÖZGEÇMİŞ

BİROL KILKIŞ

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltildi Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.